

ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP): UMA DEFINIÇÃO DO RISCO À INUNDAÇÃO PARA A AMAZÔNIA SETENTRIONAL

Analytic Hierarchy Process (AHP): a definition of the risk of flooding to Northern Amazon

Proceso de Jerarquía Analítica (AHP): una definición de riesgo de inundaciones para la Amazonia del Norte

Antônio Carlos Ribeiro Araújo Júnior
Universidade Federal de Roraima
aj_geo@hotmail.com

Stélio Soares Tavares Júnior
Universidade Federal de Roraima
stelio.tavares@ufr.br

Resumo

Trabalhar com riscos ambientais é trabalhar com diferentes variáveis que podem interferir no processo de gênese e/ou intensificação de fenômenos nocivos à sociedade. A busca por alternativas para aferição probabilística de fenômenos naturais agressivos à sociedade, ou seja, os riscos, vêm sendo uma constante. Para tanto, sugerir o Analytic Hierarchy Process (AHP), software livre disponibilizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) como meio para tal fim parece lógico, visto que este permite a ponderação de diferentes elementos e sua posterior hierarquização para diagnóstico e tomada de decisões frente aos riscos. Assim, tem-se como objetivo analisar as variáveis ambientais que corroboram para a gênese e/ou intensificação de áreas de risco à inundação na cidade de Boa Vista-RR e posteriormente mapeá-las por meio do AHP. Foram utilizados dados de declividade, distância de inundação das drenagens principais, bacias hidrográficas das drenagens secundárias e uso e cobertura do solo para hierarquização no AHP, por meio da Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico (LEGAL), a qual permite ponderações entre os elementos elencados. O AHP mostrou ser software de geoprocessamento eficaz na mensuração de áreas de risco à inundação e na produção de produtos para se lidar com os riscos no presente e no futuro.

Palavras chave: Planejamento; Espaço urbano; Risco à inundação.

Abstract

Working with environmental risks is to work with different variables that can interfere in the process of genesis and / or intensification of phenomena harmful to society. The search for alternatives to probabilistic assessment of natural aggressive phenomena to society, that is, risks have been a constant. Therefore, to suggest the Analytic Hierarchy Process (AHP), free software provided by the Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) as a means to this end seems logical, since it allows the weighting of different elements and their subsequent hierarchization for diagnosis and decisions-making against the risks. Thus, the objective is to analyze the environmental variables that support the genesis and / or intensification of flood risk areas in the city of Boa Vista-RR and subsequently map them through the AHP. We used slope data, flood distance of main drainage, watersheds of secondary drainage, and land cover and use for hierarchy in the AHP, through the Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico (LEGAL), which allows weightings between the listed elements. AHP proved to be

effective geoprocessing software in measuring flood risk areas and producing products to deal with present and future risks.

Keywords: Planning; Urban space; Flood Risk.

Resumen

Trabajar con riesgos ambientales es trabajar con diferentes variables que pueden interferir en el proceso de génesis y / o intensificación de fenómenos nocivos para la sociedad. La búsqueda de alternativas de valoración probabilística de fenómenos naturales agresivos para la sociedad, es decir, los riesgos, han sido constantes. Para ello, sugiriendo el Proceso de Jerarquía Analítica (AHP), el software libre puesto a disposición por el Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales (INPE) como medio para tal fin parece lógico, ya que permite la ponderación de diferentes elementos y su posterior jerarquía para el diagnóstico y la toma de decisiones contra riesgos. Así, el objetivo es analizar las variables ambientales que corroboran la génesis y / o intensificación de áreas en riesgo de inundación en la ciudad de Boa Vista-RR y posteriormente mapearlas a través del AHP. Los datos de taludes, distancia de inundación de los drenajes principales, cuencas hidrográficas de los drenajes secundarios y uso y cobertura del suelo se utilizaron para la jerarquía en el AHP, utilizando el Lenguaje Espacial para el Geoprocésamiento Algebraico (LEGAL), que permite la ponderación entre los elementos enumerados. El AHP demostró ser un software de geoprocésamiento efectivo en la medición de áreas con riesgo de inundación y en la producción de productos para enfrentar los riesgos en el presente y en el futuro.

Resumen: Planificación; Espacio urbano; Riesgo de inundaciones.

INTRODUÇÃO

O aumento da população mundial, tendo sua concentração predominantemente nos centros urbanos faz com que áreas impróprias (topos de morro, encostas, planícies de inundação etc.) sejam ocupadas, podendo vir a gerar ou potencializar fenômenos nocivos a esta mesma população que busca saciar uma necessidade básica, a moradia.

Espaços geográficos utilizados para o desenvolvimento das atividades humanas sempre fizeram parte da sociedade, no entanto, a utilização sem planejamento fez e faz com que áreas de risco ambiental tornem-se mais evidentes e inegavelmente passem a assumir papel de destaque por seus impactos ambientais, os quais levam a perdas materiais (moradias, infraestruturas viárias, sanitárias etc.), bem como de vidas humanas.

Técnicas de geoinformação como Sensoriamento Remoto, Geoprocésamento, Sistemas de Informação Geográficos (SIGs), entre outras, aparecem como importante ferramenta de gestão dos espaços em risco. Estes espaços tornam-se vulneráveis ambientalmente por questões sociais, as quais podem se remeter a baixo poder aquisitivo por parte da população de espaços "livres" de fenômenos naturais que possivelmente possam lhe causar danos ou perdas ou mesmo pela ausência de mecanismos de planejamento que considerem a sociedade como elemento indissociável das variáveis naturais (clima, solo, vegetação, hidrografia).

Diversos autores têm dedicado estudos à compreensão de como os grupos sociais provocam impactos sobre o meio físico, e por conta disso acabam sendo prejudicados pelas transformações ocorridas no ambiente (BRÜSEKE, 1997; CHRISTOFOLETTI, 2008; DAGNINO; CARPI JÚNIOR, 2007; HOGAN et al., 2001; VIEILLARD-BARON, 2007;). Tais autores sinalizam uma visão integrada a cerca da intensificação/geração de formas e processos, os quais modificam o meio biofísico e colocam em risco as sociedades.

De acordo com Veyret e Meschinet de Richemond (2007), há de se considerar que os territórios onde se verificam riscos, tanto naturais quanto tecnológicos ou sociais, são tributários de um passado nem sempre bem conhecido, e de escolhas políticas ou econômicas cuja pertinência não pode ser compreendida senão no contexto de uma dada época.

Nesse sentido, o trabalho tomará o uso do termo risco como uma categoria de análise que segundo Castro, Peixoto e Pires do Rio (2005) está associado à priori às noções de incerteza, exposição ao perigo, perda e prejuízos materiais, econômicos e humanos em função de processos de ordem "natural" (tais como os processos exógenos e endógenos da Terra) e/ou daqueles associados ao trabalho e às relações humanas.

O risco (*lato sensu*) refere-se, portanto, à probabilidade de ocorrência de processos no tempo e no espaço, não constantes e não-determinados, e à maneira como estes processos afetam (direta ou indiretamente) a vida humana.

O espaço assume nesta análise uma dupla conotação (i) é recurso físico-material de produção e reprodução da vida social e (ii) risco em sentido *lato sensu*, ou seja, a partir do uso "desordenado" pode gerar ou potencializar fenômenos desastrosos, inundações, deslizamentos etc., e cada realidade urbana apresenta suas particularidades quanto aos usos espaciais.

Assim, têm-se como objetivo analisar as variáveis ambientais que corroboram para a gênese e/ou intensificação de áreas de risco à inundação na cidade de Boa Vista (Figura 1) e posteriormente mapeá-las por meio do Processo Analítico Hierárquico ou Analytic Hierarchy Process (AHP).

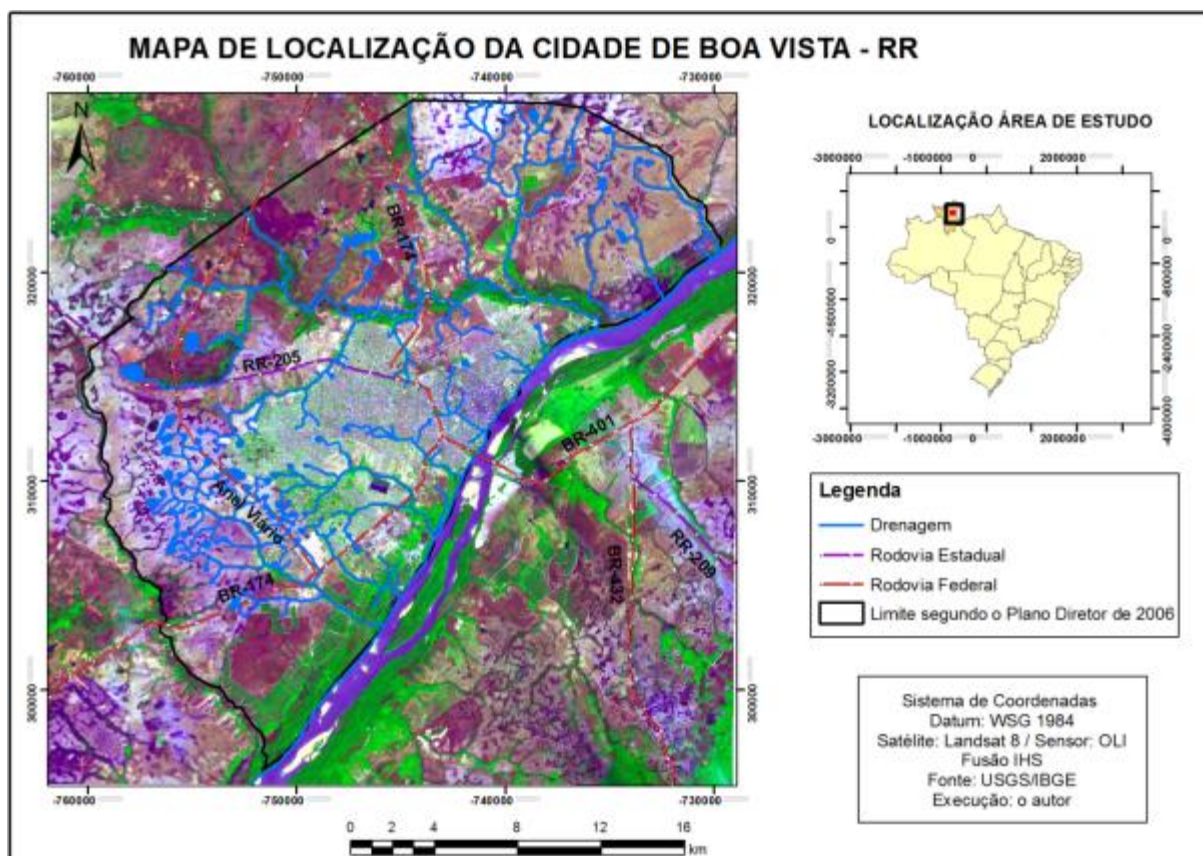


Figura 1 – Localização da cidade de Boa Vista – RR
 Fonte: Araújo Júnior (2016).

Este permite a ponderação de diversos fatores envolvidos em processos de diagnósticos e tomadas de decisão, auxiliando a integração objetiva de dados indicadores com posterior hierarquização das variáveis elencadas (MARCHEZETTI; KAVISKI; BRAGA, 2011; OLIVEIRA et al., 2009).

De acordo com Ribeiro Júnior e Vieira (2013) a montagem das matrizes de comparações binárias, entre as variáveis e também entre os critérios, tem como base a escala proposta por Thomas Lorie Saaty, desenvolvedor do processo, onde os pesos aplicados correspondem à importância que cada variável tem em relação à outra, os quais são descritos no Quadro 1:

Quadro 1 - Escala de Valores do Analytic Hierarchy Process (AHP) para comparação pareada

| Intensidade de importância | Definição e Explicação |
|----------------------------|--|
| 1 | Importância igual - os dois fatores contribuem igualmente para o objetivo |
| 3 | Importância moderada - um fator é ligeiramente mais importante que o outro |
| 5 | Importância essencial - um fator é claramente mais importante que o outro |
| 7 | Importância demonstrada - Um fator é fortemente favorecido e sua maior relevância foi demonstrada na prática |
| 9 | Importância extrema - A evidência que diferencia os fatores é da maior ordem possível. |
| 2, 4, 6, 8 | Valores intermediários entre julgamentos - possibilidade de compromissos adicionais |

Fonte: INPE (2015)

A lógica do quadro é que variáveis de maior importância transmitem sua influência para as variáveis menos importantes, em níveis hierárquicos mais baixos, que por sua vez contribuem também com a funcionalidade e coerência nos níveis superiores (BARROS; MOREIRA; RUDORFF, 2007; SAATY, 1986).

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para a elaboração do mapa de risco à inundação foram utilizadas quatro variáveis, (i) declividade, (ii) distância de inundação das drenagens principais, (iii) bacias hidrográficas das drenagens secundárias e (iv) uso e cobertura do solo, as quais foram trabalhadas no software Spring 5.3 em forma de Modelo Numérico de Terreno – MNT para serem criadas ponderações, ou seja pesos sobre as variáveis apresentadas para que se indique o grau de importância que cada uma possui em relação ao risco à inundação.

Para a gestão do espaço urbano de Boa Vista a utilização do máximo de informações disponíveis em imagens de satélite é importante ferramenta para se planejar ambientalmente a cidade e assim minimizar a médio e em longo prazo as consequências negativas do processo de expansão da urbanização, dentre os quais se destaca a ocupação de áreas protegidas como as planícies de inundação.

O Processo Analítico Hierárquico (AHP) viabiliza a utilização de diferentes informações contidas nas imagens, vislumbradas anteriormente por sensoriamento remoto e reconhecimento de campo, potencializando resultados para fins de planejamento e gestão.

Para a identificação das áreas com baixo, médio e alto risco à inundação foi elaborado uma banco de dados relacional, o qual segundo INPE (2015) é uma ferramenta que possibilita a realização de análises espaciais através de álgebra de mapas, utilizando os atributos espaciais e não espaciais das entidades gráficas armazenadas na base de dados espaciais para fazer simulações sobre os fenômenos do mundo real.

Implementa-se a álgebra de mapas por meio da Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico (LEGAL), uma linguagem de consulta e manipulação espacial que realiza operações sobre dados dos tipos MAPA TEMÁTICO, MODELO NUMÉRICO DE TERRENO e IMAGEM (INPE, 2015).

O programa LEGAL disponibiliza as seguintes operações, (i) transformação, (ii) booleana, (iii) condicional, (iv) matemática, (v) classificação contínua, (vi) vizinhança e (vii) reclassificação por atributos. Para a análise deste trabalho foi utilizada a operação transformação que apresenta as operações pondere, fatie e reclassifique, dentre as quais as duas primeiras foram trabalhadas.

A operação *pondere* transforma um TEMÁTICO em um MNT, enquanto que a operação *fatie* transforma um MNT ou uma IMAGEM em um TEMÁTICO. A primeira operação é usada para que pesos sejam atribuídos as classes presentes nos planos de informação (PIs), gerando MNTs ponderados. Já a segunda operação permite com que se crie níveis analíticos do tipo baixo, médio e alto (por exemplo), a partir de valores máximos e mínimos oriundos da integração de diferentes PIs, ou seja, a operação *fatie* permite a geração de um mapa temático com classes, as quais são definidas a partir do objeto de estudo.

No entanto, para a realização destas operações faz-se necessário a criação de uma linguagem que LEGAL entenda. Tal linguagem apresenta a seguinte estrutura composta de três partes segundo INPE (2015):

- Declaração: Nesta fase definem-se os dados. Cada plano de informação (PI) a ser manipulado é declarado explicitamente, dando-lhe um nome e associando-o à sua categoria no esquema conceitual.
- Instanciação: Nesta etapa recuperam-se os dados existentes do banco de dados ou criam-se os novos PIs. Um novo PI pode então ser associado ao resultado de operações em LEGAL.
- Operação: Nesta fase, realizam-se as operações da álgebra de mapas. As seguintes operações estão disponíveis: transformação, booleana, matemática, classificação contínua, vizinhança, reclassificação por atributos.

A representação desta linguagem segue no exemplo de ponderação de distância de inundação das drenagens principais abaixo.

```
{
Tematico distal ("Distancia");
Tabelatabpeso (Ponderacao);
NumericodistalMNT ("CAT_DST");

distal= Recupere(Nome="distalP");

tabpeso= Novo (CategoriaIni = "Distancia", "proxima":0.5, "intermedio":0.4, "distante":0.1,
"afastado":0.0);

distalMNT= Novo(Nome="distalpond", ResX=30, ResY=30, Escala=60000);

distalMNT= Pondere (distal, tabpeso);
}
```

Onde:

Azul claro: representa o elemento a ser trabalhado (Declaração);

Vermelho: representa a recuperação dos elementos existentes no banco de dados previamente construído, sendo-lhes atribuídos pesos (Instanciação);

Azul escuro: representa a operação a ser aplicada (Operação);

A Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico (LEGAL) é uma ferramenta de suporte à decisão e o procedimento descrito anteriormente é necessário para a aplicação do Analytic Hierarchy Process (AHP) ou em português Processo Analítico Hierárquico.

O AHP é um método estatístico que utiliza análise multivariada para correlacionar as diferentes variáveis dependentes, buscando padrões de maior ou menor similaridade, sendo importante destacar que a escolha das variáveis não é feita por meio de programas computacionais, mas a partir de análises teórico-técnicas das variáveis mais significativas para os objetivos a serem alcançados.

A técnica permite o cruzamento de informações plotadas para a geração de mapas de risco à inundação, os quais retratam os diferentes graus de risco (baixo, médio e alto), subsidiando posteriores usos para planejar o espaço urbano, assim como melhor geri-lo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Risco à inundação trata-se de fenômeno que pode vir a ser, o qual não está materializado, mas que é possível de acontecer.

Para estudos que envolvem a análise de riscos ambientais, como as inundações, trabalha-se igualmente com probabilidades, sendo necessário considerar diferentes variáveis e cruzá-las para que por meio de ponderações possa-se estimar espacialmente quais áreas são mais ou menos propensas a materializarem o risco.

Destaca-se que a cidade de Boa Vista está inserida na unidade morfoestrutural do Pediplano Rio Branco - Rio Negro, a qual segundo Beserra Neta e Tavares Júnior (2008) caracteriza-se como uma extensa superfície de aplanamento (...) com altitudes variando de 80 a 160 metros, bem como Falcão e Costa (2012) os quais enquadraram Boa Vista na Depressão Boa Vista que de acordo com BRASIL (2005), corresponde a um modelado de acumulação (agradiação), distribuindo-se no setor central de Roraima caracterizada por ser uma extensa região plana com altitude média variando entre 80 e 110 metros.

A baixa altitude da área de estudo favorece muito mais fenômenos retentivos e estagnantes das águas ocasionadas pelas cheias das planícies de inundação do que fenômenos

de enxurradas e deslizamentos, assim o risco à inundação tem nas baixas altitudes (Figura 2) um elemento a ser considerado em sua análise.

Como dito anteriormente, o risco está associado a uma situação de probabilidade de ocorrência, sendo necessário, para tanto, considerar elementos, os quais em associação culminem em uma situação que venha a atingir a sociedade.

Neste ínterim, lembra-se que a inundação é um fenômeno natural que ocorre a partir da cheia do leito do rio e seu espraiamento sobre o leito menor. Logo, o risco a inundação de uma residência está atrelado a usos e ocupações em áreas impróprias para tais fins.

Outrossim, outra parte geomorfológica do rio chama-se leito maior, o qual tende a ser ocupado em razão de em situações normais o mesmo não ter suas terras alcançadas pela água do rio, dando a falsa impressão de estas áreas são propícias para uso, quando isto não é verdade. A consideração de variáveis físicas como leito de inundação (menor e maior), altimetria, declividade, entre outros é essencial para se determinar os usos espaciais da sociedade em terrenos próximos a cursos d'água, evitando-se com isso o risco à inundação.

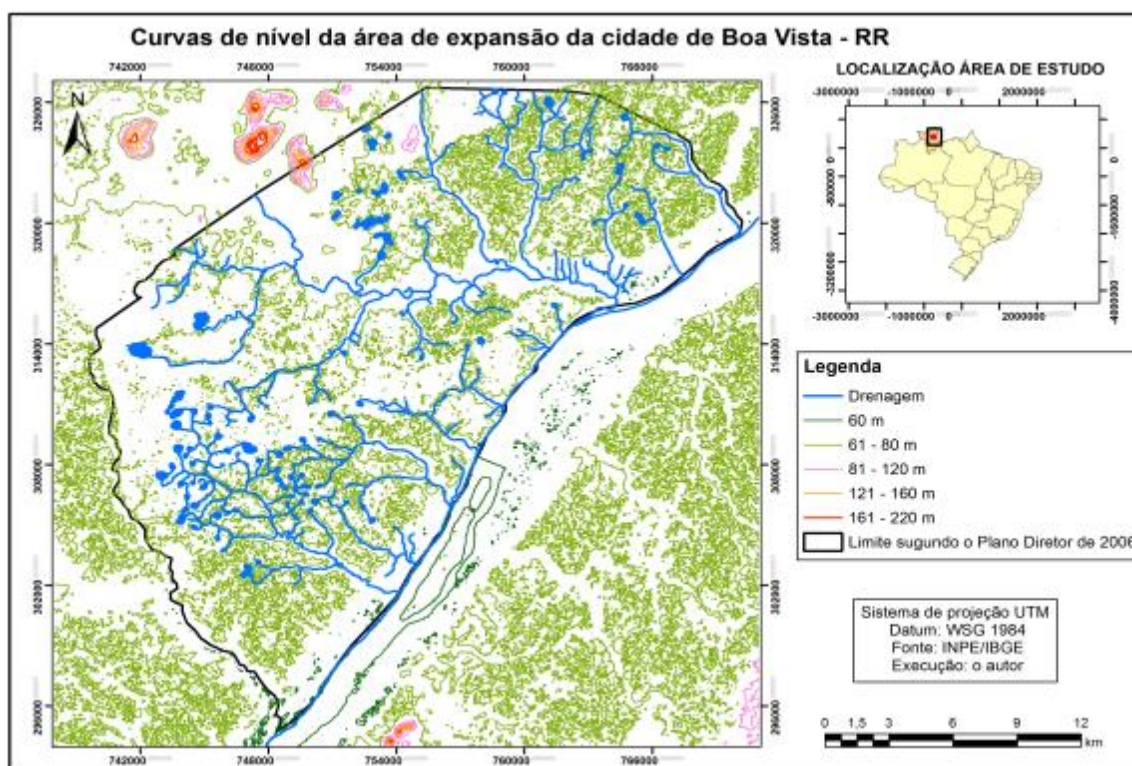


Figura 2 – Mapa com as curvas de nível da área de expansão da cidade de Boa Vista – RR, destacando a baixa altimetria da área.

Fonte: Araújo Júnior (2016).

A baixa altimetria, associada a fatores climáticos e hidrológicos faz com que a declividade da área seja reduzida apresentando relevo plano à suave ondulado segundo a classificação da EMBRAPA (1979) como é possível visualizar no Quadro 2 e na Figura 3.

Quadro 2 – Classificação de declividade

| Declividade (%) | Discriminação |
|-----------------|-------------------------|
| 0 - 3 | Relevo plano |
| 3 - 8 | Relevo suave ondulado |
| 8 - 20 | Relevo ondulado |
| 20 - 45 | Relevo forte ondulado |
| 45 - 75 | Relevo montanhoso |
| > 75 | Relevo forte montanhoso |

Fonte: EMBRAPA (1979).

A utilização dos dados topográficos Suttle Radar Topography Mission ou SRTM permitiram com que fosse possível visualizar a representação da declividade da área na figura 3.

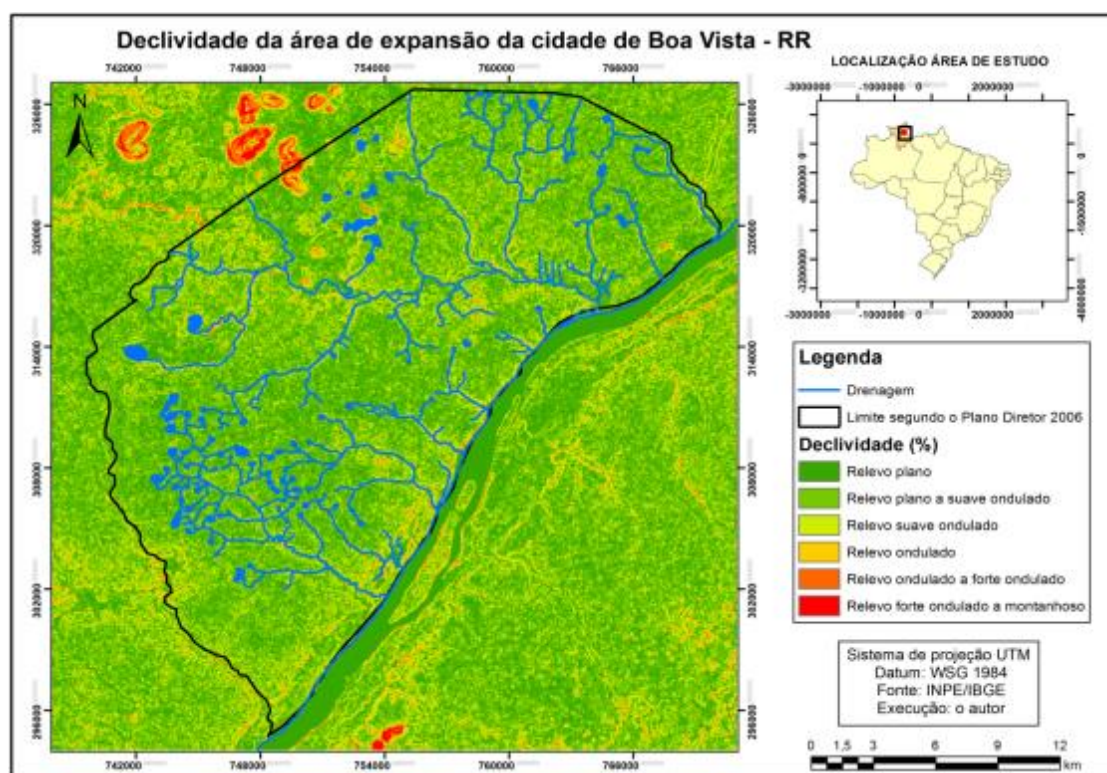


Figura 3 – Mapa de declividade da área de expansão da cidade de Boa Vista – RR.

Fonte: Araújo Júnior (2016).

Além dos dados planialtimétricos foi considerado também a cheia histórica ocorrida em 2011 na região de Boa Vista - RR, na qual segundo dados de Sanderet al. (2012) o Rio Branco registrou cota de 10,28 metros acima do nível normal, atingindo 66,43 metros, inundando 6,16 km² de área. A zona central da cidade na qual a cidade de Boa Vista teve seu início, nas margens do Rio Branco, foi totalmente inundada (figura 4).



Figura 4 – Inundação na cidade de Boa Vista no ano de 2011.
Fonte: **Divulgação/Governo Roraima (2011)**.

Os dados de subida da água no Rio Branco foram obtidos por Sander et al. (2012) por meio da Companhia de Água e Esgoto de Roraima (CAER), a qual faz medições utilizando régua limnimétrica. O quantitativo de dados analisados por estes autores perfaz um total de 43 anos, nos quais se observou que a média de subida do Rio Branco é de 63,21 metros.

Percebe-se que o Rio Branco subiu 3,22 metros acima de sua média, e fatores como fortes chuvas em suas cabeceiras, cheia de sua foz (Rio Negro) e a região fortemente aplainada de Boa Vista, somaram-se e condicionaram a cidade ao fenômeno de inundação não somente de seu leito menor, mas também de seu leito maior, inclusive extrapolando esta área.

Assim, a partir de suas drenagens principais - Rio Branco e Rio Cauamé - e considerando que a área urbana de Boa Vista, consolidada e em expansão, tem uma média máxima de altimetria de **120 metros** e os valores médios de subida da água girarem em torno de um pouco mais de 7 metros considera-se que valores associados ao risco à inundação foram de 100 metros para área com alto risco de inundação, 200 metros para áreas com médio risco à inundação e 300 metros para área com baixo risco à inundação. O mapa da Figura 5 mostra o estabelecimento destas distâncias.



Figura 5 – Distâncias de inundações nos Rios Branco e Cauamé na área de expansão da cidade de Boa Vista – RR.
Fonte: Araújo Júnior (2016).

Às variáveis anteriormente citadas somam-se as bacias hidrográficas presentes na cidade de Boa Vista, as quais totalizam 15 bacias ou drenagens secundárias mais o leito do Rio Cauamé localizados na cidade de Boa Vista (Figura 6). O uso e cobertura do solo (dados apresentados na seção anterior) também foram considerados, visto que não há risco se não há presença humana.

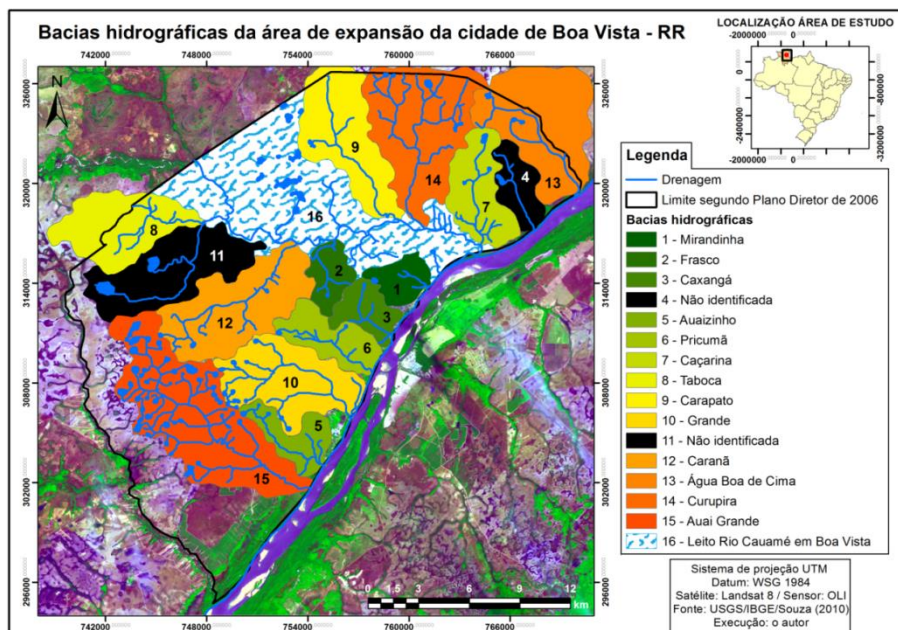


Figura 6 – Mapa de localização das bacias hidrográficas da área urbana consolidada e em expansão de Boa Vista – RR.
Fonte: Araújo Júnior (2016).

Das bacias hidrográficas acima elencadas, cabe destacar que 6 bacias hidrográficas Mirandinha, Frasco, Caxangá, Pricumã, Caranã e Grande estão na área urbana consolidada de Boa Vista. Isto é alertado, pois as remediações para estas áreas tendem a ser mais controversas, em razão da instalação efetiva de infraestruturas que viabilizam usos diversos.

Todavia, tais infraestruturas ao não considerar as condições físicas do local, acabaram por expor a população aí residente a riscos ambientais associados às inundações. Logo, para tais áreas as soluções são em longo prazo, cabendo em curto prazo trabalho humano com prevenções e remediações de situações extremas (deslocamento de áreas inundadas).

Assim, foram quatro as variáveis selecionadas, a lembrar, (i) declividade, (ii) distância de inundação em relação as drenagens principais, (iii) bacias hidrográficas das drenagens secundárias e (iv) uso e cobertura do solo.

Utilizando a ferramenta de tomada de decisão presente no Software Spring 5.3 chamada de Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico ou LEGAL, pesos foram atribuídos a cada uma das variáveis citadas, as quais no banco de dados deste software são chamadas de Plano de Informação (PI).

O PI de uso e cobertura do solo foi denominado "uso", sendo utilizadas as variáveis formadoras desta variável, ou seja, corpos d'água, área urbana, vegetação ciliar/secundária e savana. Após escrita na LEGAL obteve-se a seguinte forma

```
{  
  
Tematicoxuso ("CAT_Tematico");  
Tabelatabpeso (Ponderacao);  
NumericousoMNT ("CAT_USO");  
  
xuso= Recuperere(Nome="uso2");  
  
tabpeso= Novo (CategoriaIni = "CAT_Tematico", "hidrico":0.35, "urbana":0.3, "savana":0.2,  
"ciliar":0.15);  
  
usoMNT= Novo(Nome="usopond", ResX=30, ResY=30, Escala=60000);  
  
usoMNT= Pondere(xuso,tabpeso);  
  
}
```

Assim, foram atribuídos os pesos 35% para corpos d'água (hidrico), 30% para área urbana (urbana), 20% para savana (savana) e 15% para vegetação ciliar/secundária (ciliar). Às classes "hidrico" e "urbana" foram atribuídos os maiores pesos devido se considerar que são elementos mais significativos para a análise dos riscos à inundação no PI "uso".

O PI declividade foi chamado de "declive1", sendo que os percentuais para distribuição dos pesos, os quais classificam as declividades em relevo plano (rp), relevo suave

ondulado (rso), relevo ondulado (ro), relevo forte ondulado (rfo), relevo montanhoso (rm), relevo forte montanhoso (rfm) foram, respectivamente, 45%, 35%, 10%, 5%, 2,5% e 2,5% e são representados na LEGAL abaixo:

```
{
Tematico declive1 ("CAT_Tematico");
Tabelatabpeso (Ponderacao);
NumericodecliveMNT ("CAT_MNT");

declive1= Recupere(Nome="declive1");

tabpeso= Novo (CategoriaIni = "CAT_Tematico", "rp":0.45, "rso":0.35, "ro":0.1, "rfo":0.05,
"rm":0.025, "rfm":0.025);

decliveMNT= Novo(Nome="declivepond", ResX=30, ResY=30, Escala=60000);

decliveMNT= Pondere (declive1, tabpeso);

}
```

Quatro foram as distâncias atribuídas as inundações que circunscrevem as margens dos Rios Cauamé e Branco, sendo 100 metros (proxima), 200 metros (intermedio), 300 metros (distante) e de 400 até 10 mil metros (afastado). Este último valor foi atribuído para que houvesse preenchimento total do MNT que representa este PI, sendo-lhe dado peso zero na análise multivariada.

À variável "proxima" foi dado o peso de 50%, a "intermedio" 40%, a "distante" 10 % e como já mencionado, a variável "afastado" teve peso 0.0%. Estes pesos foram dados tendo em vista conhecimento de campo e baseado-se no trabalho de Sander et al. (2012). Assim a seguinte linguagem foi escrita para o PI declividade:

```
{
Tematico distal ("Distancia");
Tabelatabpeso (Ponderacao);
NumericodistalMNT ("CAT_DST");

distal= Recupere(Nome="distalP");

tabpeso= Novo (CategoriaIni = "Distancia", "proxima":0.5, "intermedio":0.4, "distante":0.1,
"afastado":0.0);

distalMNT= Novo(Nome="distalpond", ResX=30, ResY=30, Escala=60000);

distalMNT= Pondere (distal, tabpeso);

}
```

Para o PI bacias hidrográficas foram consideradas as 15 bacias mais o leito do Rio Cauamé presentes na cidade de Boa Vista. Os pesos atribuídos as bacias hidrográficas levou em conta o quantitativo populacional estimado em cada bacia.

Visto a cidade de Boa Vista, em seu espaço urbano possuir atualmente cerca de 290 mil habitantes, contata-se que 31% estão situados na bacia do Caraná, 22% na bacia do Grande, 16% na bacia do Pricumã, 12% na bacia do Caxangá, 10% na bacia do Frasco e 7% na bacia do Mirandinha. As porcentagens descritas correspondem aos pesos da LEGAL.

Às demais bacias incluindo o leito do Rio Cauamé foi dado o peso zero, devido ainda apresentarem incipiente ocupação. Logo a representação algébrica foi a seguinte:

```
{
Tematicoxbacia ("CAT_Tematico");
Tabelatabpeso (Ponderacao);
NumericousoMNT ("CAT_Bacia");

xbacia= Recupere(Nome="bacias2");

tabpeso= Novo (CategoriaIni = "CAT_Tematico",
"Carana":0.31,
"Grande":0.22,
"Pricuma":0.16,
"Caxanga":0.12,
"Frasco":0.10,
"Mirandinha":0.07,
"A":0.0,
"B":0.0,
"C":0.0,
"D":0.0,
"E":0.0,
"F":0.0,
"G":0.0,
"H":0.0,
"I":0.0,
"J":0.0);

usoMNT= Novo(Nome="baciapond", ResX=30, ResY=30, Escala=60000);

usoMNT= Pondere(xbacia,tabpeso);
}
```

Após a inserção dos PIs em formato de linguagem algébrica e geração de seus respectivos Modelos Numéricos de Terreno (MNTs), torna-se possível a utilização da ferramenta de suporte à decisão AnalyticHierarchyProcess (AHP), sendo necessário estabelecer uma relação lógica entre os PIs elencados. A representação desta relação é mostrada na Figura 7.

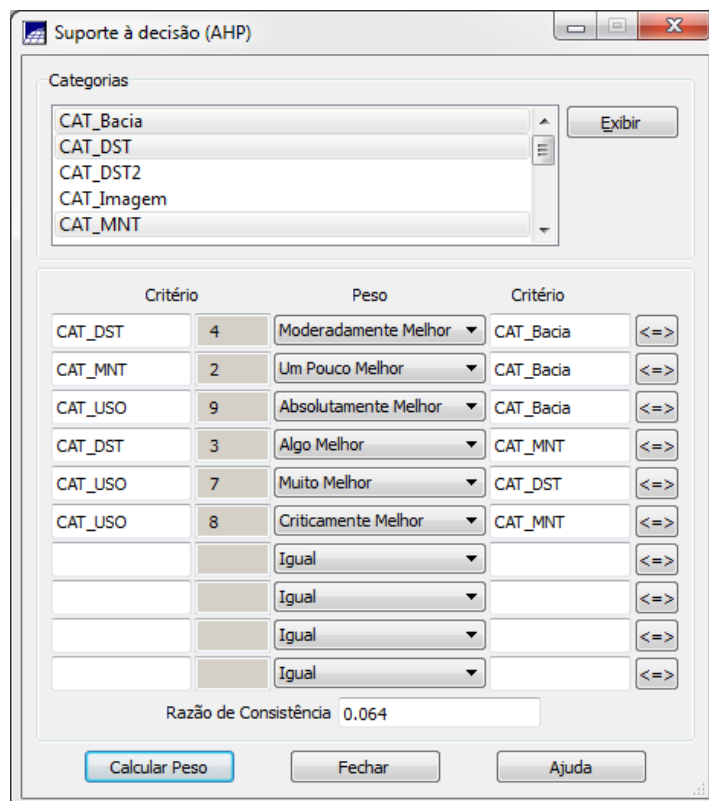


Figura 7 – Ferramenta de suporte à decisão Analytic Hierarchy Process(AHP).
 Fonte: Araújo Júnior (2016).

Foram atribuídas intensidades entre os quatro PIs para assim determinar suas importâncias. A relação distância das drenagens principais - bacia hidrográfica apresentou intensidade de importância 4, sendo este um valor intermediário entre os julgamentos, abrindo possibilidade de interação com quaisquer outros elementos. A mesma análise é feita para a relação declividade - bacia hidrográfica com importância 2 e uso e cobertura do solo - declividade com importância 8.

Já a relação distância das drenagens principais - declividade com intensidade de importância 3 é definida como importância moderada, pois um fator é ligeiramente mais importante que o outro. Na relação uso e cobertura do solo - distância das drenagens principais a intensidade de importância foi de 7, denotando importância demonstrada, ou seja, um fator é fortemente favorecido e sua maior relevância foi demonstrada na prática.

Quanto a relação uso e cobertura do solo - bacias hidrográficas a intensidade de importância foi 9, sendo de importância extrema, uma vez que, a evidência que diferencia os fatores é da maior ordem possível.

As relações uso e cobertura do solo - distância das drenagens principais e uso e cobertura do solo - bacias hidrográficas foram claramente identificadas na última grande cheia do Rio Branco em 2011. Grande parte da cidade foi afetada e notadamente as áreas próximas

aos Rios Cauamé e Branco foram as mais afetadas como é possível visualizar nas Figuras 8 e 9.



Figura 9 – Bairro São Pedro zona leste: banhado pelos Rios Branco e Cauamé
Fonte: Defesa Civil do estado de Roraima, Corpo de Bombeiros de Roraima e Governo de Roraima (2011).

Após estabelecidas as relação no AHP foi obtido a Razão de Consistência (RC) 0.064. A RC estabelece a lógica entre a intensidade de importância dada aos elementos relacionados e segundo Saaty (2000) a condição de consistência dos julgamentos deve ser $RC \leq 0,10$ para que haja congruência na análise.

A identificação das áreas de risco à inundação na cidade de Boa Vista foi feita a partir do cruzamento das relações expostas com as médias ponderadas totais dos PIs de declividade, distância das drenagens principais, uso e cobertura do solo e bacias hidrográficas. A LEGAL para obtenção do risco à inundação é o seguinte:

```

{
// Pesos a ser aplicados
// CAT_Bacia = 0.047
// CAT_DST = 0.158
// CAT_MNT = 0.073
// CAT_USO = 0.722

// Razao de consistência
// CR = 0.064

// Programa em LEGAL
// Este programa deve ser completado
// pelo usuario para incluir os dados
// apresentados entre os sinais de <>

// Definicao dos dados de entrada

Numerico var1 ("CAT_Bacia");
Numerico var2 ("CAT_DST");
Numerico var3 ("CAT_MNT");
Numerico var4 ("CAT_USO");

// Definicao do dado de saida

Numerico var5 ("CAT_MNT");

// Recuperacao dos dados de entrada

var1 = Recupere (Nome="baciapond");
var2 = Recupere (Nome="distalpond");
var3 = Recupere (Nome="declivepond");
var4 = Recupere (Nome="usopond");

// Criacao do dado de saida

var5 = Novo (Nome="riscopond", ResX=30, ResY=30, Escala=60000,
Min=0, Max=1);

// Geracao da media ponderada

var5 = 0.047*var1 + 0.158*var2+ 0.073*var3+ 0.722*var4;
}

```

O MNT da ponderação das variáveis para gerar a representação numérica do risco à inundação é vista na Figura 10.

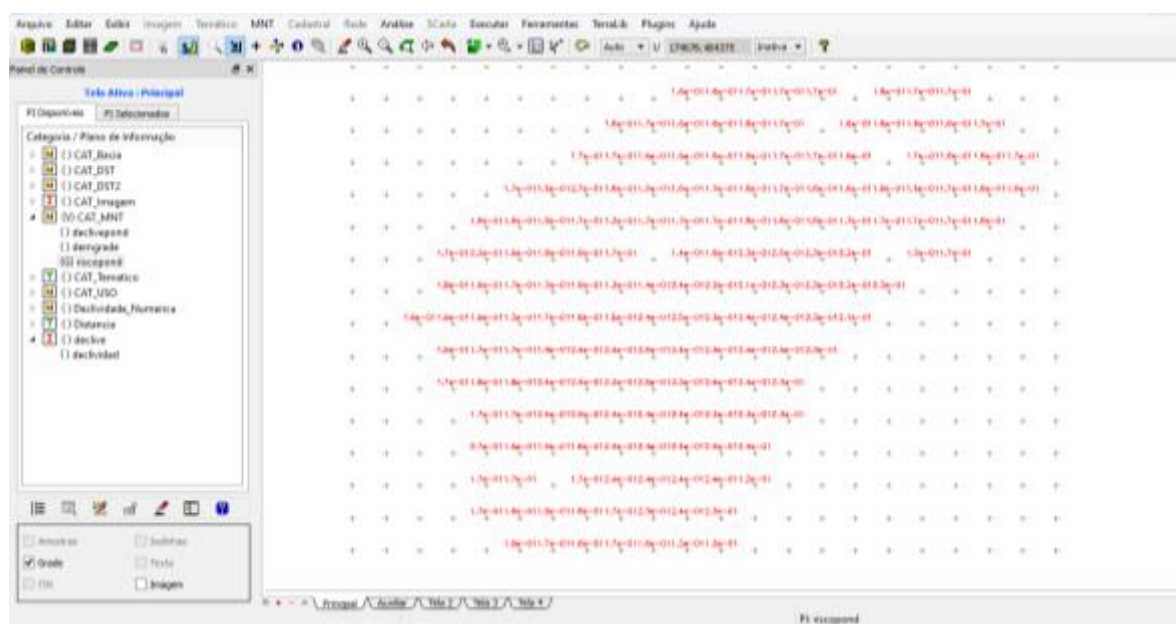


Figura 10 – Modelo Numérico de Terreno (MNT) do risco à inundação na cidade de Boa Vista
Fonte: Araújo Júnior (2016).

O MNT na figura 48 representa o somatório dos PIs com seus respectivos pesos, mostrados na última linha da linguagem aritmética de risco à inundação, para os quais bacia hidrográfica teve peso 4,7%, distância das drenagens primárias teve peso 15,8%, declividade teve peso 7,3% e uso e cobertura do solo 72,2,6%

Para se obter o mapa de risco à inundação foi feito o fatiamento do MNT representado pela Figura 11, sendo que o valor mínimo da ponderação foi de 0.10355 e o valor máximo 0.35222. Para baixo risco a variação foi de 0.10355 a 0.16655, médio risco de 0.16555 a 0.22955 e alto risco de 0.22955 a 0.35222. Estas variações são expostas na Figura 12.

Há significativa concentração das áreas de risco à inundação nas proximidades dos cursos d'água e na área urbana consolidada de Boa Vista, denotando áreas que são efetivamente atingidas e áreas com a possibilidade de serem ordenadas para que este fenômeno não veja a ocorrer afetando a sociedade.

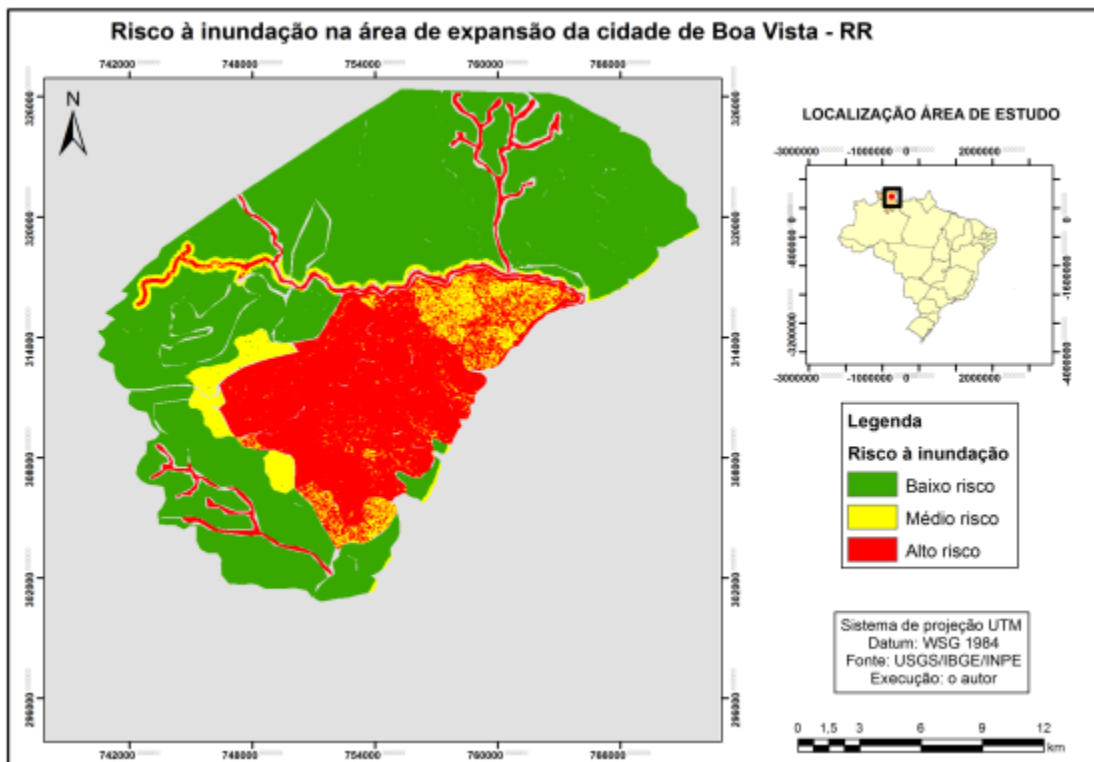


Figura 11 – Mapa de risco à inundação da área de expansão da cidade de Boa Vista – RR.
Fonte: Araújo Júnior (2016).

A identificação das áreas de risco à inundação mostra que 257,17 km² estão sob baixo risco, 35,44 km² estão sob médio risco e 111,42 km² estão propensos a alto risco à inundação. A porcentagem de áreas é representada na Figura 12.

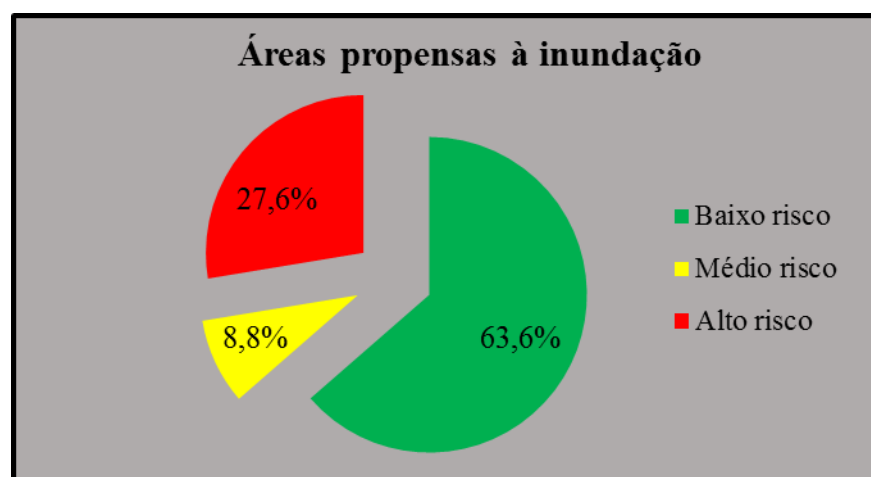


Figura 12 – Gráfico do total de áreas propensas à inundação.
Fonte: Araújo Júnior (2016).

O baixo risco à inundação concentra-se em áreas de savana, as quais na cidade de Boa Vista são esparsamente ocupadas, trazendo assim baixos impactos socioeconômicos (perdas materiais, desalojamentos, mortes). Já as áreas com médio risco à inundação estão próximas as drenagens principais da cidade de Boa Vista, bem como da área urbana,

denotando que cuidados devem ser tomados no concernente ao uso e ocupação destas áreas.

Quanto às áreas com alto risco à inundação, estas correspondem a 27,6% da área total da cidade de Boa Vista, com o agravante que quase sua totalidade está na área urbana, ou seja, a área mais densamente ocupada da cidade. Fatores como retirada da cobertura vegetal, impermeabilização do solo, retificação de canais, ocupação desordenada entre outros, contribuem para agravar este quadro.

Eventos como o ocorrido em 2011 são passíveis de ocorrerem novamente e atingirem a área com maior severidade, pois percebe-se que a zona oeste ainda passa por adensamentos populacionais, sendo a área de expansão por excelência de Boa Vista.

A zona oeste ainda detém grande quantidade de nascentes afloradas, boa parte pertencente à bacia hidrográfica Auai Grande. Esta bacia hidrográfica é semelhante topograficamente a bacia hidrográfica do Grande e percebe-se que o processo de uso e ocupação ocorrido entre os anos de 1995 a 2005 na bacia do Grande tem grande possibilidade de se repetir na bacia do Auai Grande, com supressão da savana, vegetação ciliar e das áreas de nascentes, posto que o uso e ocupação já se percebe o avanço em direção a bacia hidrográfica Auaizinho.

O adensamento populacional, juntamente com os demais fatores elencados, faz com que a zona oeste seja uma área de alto risco, visto muitas famílias habitarem áreas propícias a inundações. Faz-se importante mencionar que não somente a zona oeste, mas também a zonas norte e leste, na margem direita do Rio Cauamé em seu trecho urbano possui áreas com médio e alto risco à inundação, sendo necessário que os usos, voltados eminentemente para a que as ocupações sejam melhor controlados pelo poder público municipal por meio de mecanismos reguladores como o plano diretor urbano, para que cenas como das Figuras 13 e 14 sejam minimizadas.



Figura 13 – Bairro Paraviana zona norte: banhado pelos Rios Branco e Cauamé.
 Fonte: Defesa Civil do estado de Roraima, Corpo de Bombeiros de Roraima e Governo de Roraima (2011).

As imagens obtidas junto a Defesa Civil do Estado de Roraima revelam uma situação pouco presenciada em muitas cidades brasileiras atingidas por inundações, visto que o bairro Paraviana ser um dos bairros ocupados por parcela da classe média da cidade. Está ocorrência se contrapõe a crença que somente áreas com populações de baixo poder aquisitivo são atingidas por fenômenos naturais e para Boa Vista isto está fortemente atrelado a não consideração da altimetria do terreno, bem como declividade e desconhecimento da planície de inundação (menor e maior) dos cursos d'água, ou seja, características físicas.



Figura 14 - Bairro Cauamé zona norte: banhado pelos Rios Branco e Cauamé
 Fonte: Defesa Civil do estado de Roraima, Corpo de Bombeiros de Roraima e Governo de Roraima (2011). 229

A identificação das áreas de risco à inundação permitiu com que as bacias hidrográficas pertencentes a cidade de Boa Vista fossem enquadradas nesta análise, possibilitando a visualização de quais bacias estão em áreas de alto, médio e baixo risco.

Foi possível constatar que as bacias hidrográficas Mirandinha e Auaizinho contemplam áreas de médio e alto risco de forma intrincada. As bacias hidrográficas Grande e Cauamé, as duas maiores da cidade, quase em sua totalidade apresentam áreas de alto risco à inundação, com pequenos trechos de baixo e médio risco.

Situação diferente encontra-se as bacias hidrográficas Caxangá, Frasco e Pricumã, as quais apresentam alto risco à inundação, expondo cerca de 112.447 pessoas (38% da população citadina) ao fenômeno de subida e retenção das águas no espaço urbano.

As demais bacias hidrográficas apresentam alto risco as proximidades de seus leitos fluviais e baixo risco à inundação se considerado o fator uso e ocupação do solo, fator primordial para a caracterização de áreas de risco. A representação desta análise segue abaixo (Figura 15).

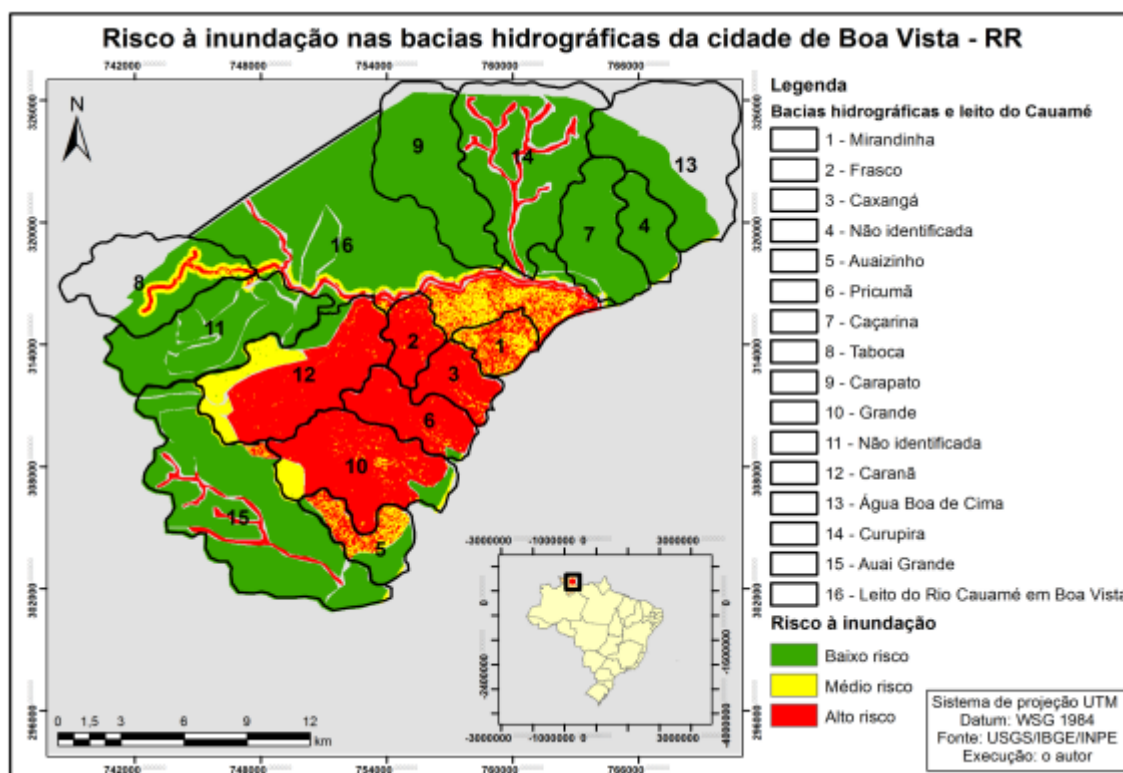


Figura 15 – Enquadramento das bacias hidrográficas de Boa Vista-RR nas áreas de risco à inundação.

Fonte: Araújo Júnior (2016).

É importante destacar que a minimização dos impactos causados por inundações pode acontecer, mediante o conhecimento das variáveis físicas do terreno, associadas às

variáveis sociais, visto que a conformação do terreno para usos diversos deve estar em consonância com ambas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Historicamente a cidade de Boa Vista é atingida por fortes cheias do Rio Branco relacionadas a fatores como altas pluviosidades nas cabeceiras do Rio Branco, baixa declividade da região onde a cidade está localizada, lençóis freáticos aflorantes e rede de drenagem abundante. Os fatores mencionados associados ao processo de uso e ocupação humana não acompanhada pelo poder público (municipal e estadual), pode desencadear desastres, com perdas e danos materiais e humanos.

O uso de geotecnologia se mostrou eficaz para entender como os fatores mencionados se inter-relacionam, ou seja, como as variáveis físicas expõem a sociedade a riscos. As variáveis elencadas para análise foram (i) uso e cobertura do solo, (ii) drenagens principais na cidade de Boa Vista, (iii) bacias hidrográficas e (iv) declividade.

Para cada variável foram atribuídos pesos e gerados Modelos Numéricos de Terreno (MNTs), os quais permitiram gerar uma matriz de análise que identificou o risco à inundação. A ferramenta de suporte à decisão que utiliza linguagem aritmética conhecida como LEGAL pertencente ao software SPRING 5.3 foi fundamental para a atribuição de pesos as variáveis, possibilitando elencar a importância de cada uma.

Após a atribuição dos pesos constatou-se que 63,6% da área total da cidade de Boa Vista (limite segundo o Plano Diretor de 2006) está sob baixo risco de inundação, 8,8% encontra-se em médio risco à inundação e 27,6% está sob alto risco à inundação, concentrados especificamente nas bacias hidrográficas Caxangá, Frasco e Pricumã.

Percebe-se que as ferramentas utilizadas para o uso do espaço relacionados ao controle das inundações está restrito, concentrando esforços no concretamento dos talvegues e leitos dos canais de drenagem, impermeabilização das margens e retirada da mata ciliar.

Em primeiro plano a impermeabilização por pavimentos pode ser a alternativa mais viável, pois acelera o escoamento das águas, no entanto, a redução dos leito menor e maior, faz com que o volume de água não seja suportado pelos canais, ocasionando transbordamentos (enchentes) e a estagnação da água em pontos específicos, fenômeno conhecido como alagamento, no qual a água fica "empoçada".

Assim, para além de medidas estruturais como galerias de águas pluviais, sugere-se uma abordagem mais participativa junto a população, primeiramente àquela mais sujeita a enfrentar o problema das inundações e posteriormente estender esta iniciativa para os demais habitantes que indiretamente são afetados por esta problemática como por exemplo devido a impossibilidade de locomoção, sejam pedestres ou motoristas.

Ações de educação ambiental em parceria com entidades que já desenvolvem trabalhos no concernente aos riscos à inundação como as Defesas Cíveis do Estado e Município, mas outras secretarias municipais e estaduais e demais órgãos públicos federais, bem como a iniciativa privada tem muito a acrescentar no avanço para implantar ações não estruturais para se lidar com o risco à inundação.

Tendo em conta Boa Vista ter 90% de seus habitantes habitando a zona urbana, ações preventivas são uma alternativa para gerir o risco à inundação, por meio do controle dos usos do espaço, utilizando para isso recursos previstos em lei, como o Plano Diretor Urbano, o qual dá diretrizes de uso e ocupação do espaço e zoneia áreas adequadas para cada tipo de uso.

Mapas de uso e cobertura do solo são fundamentais para se criar diagnósticos prévios dos recursos que estão sendo utilizados, mas para o avanço destes estudos sugere-se também a elaboração dos mapas de uso e cobertura do solo, os quais permitem potencializar os usos de acordo com as atividades em desenvolvimento, assim como diagnosticam potenciais usos, considerando aspetos biofísicos e sociais.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO JÚNIOR, A. C. R. **Uso do solo e risco à inundação na cidade de Boa Vista-RR**. 140 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais) - Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais, Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, 2016.

BARROS, M. A.; MOREIRA, M. A.; RUDORFF, B. F. T. Processo analítico hierárquico na identificação de áreas favoráveis ao agroecossistema cafeeiro em escala municipal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [S.l.], v. 42, n. 12, p. 1769-1777, 2007.

BESERRA NETA, L. C.; TAVARES JÚNIOR, S. S. Geomorfologia do estado de Roraima por imagens de sensores remotos. In: SILVA, P. R. F.; OLIVEIRA, R. S (Org.). **Roraima 20 anos: as geografias de um novo estado**. Boa Vista: Editora da UFRR, 2008. p. 168-193.

BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa Geomorfológico do Estado de Roraima**. Rio de Janeiro. Digeo. 2005.

BRÜSEKE, F. J. Risco social, risco ambiental, risco individual. **Ambiente & Sociedade**, Campinas, [S.l.], v. 1, n. 1, p. 117-134, 1997.

CHRISTOFOLETTI, A. Aplicabilidade do conhecimento geomorfológico nos projetos de planejamento. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da (Org.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 8. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2008. p. 415-440.

DAGNINO, R. S.; CARPI JÚNIOR, S. Risco ambiental: conceitos e aplicações. **Climatologia e Estudos da Paisagem**. Rio Claro, [S.l.], v. 2, n. 2, p. 50-87, 2007.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Súmula da 10 Reunião Técnica de Levantamento de Solos**. Rio de Janeiro. (Embrapa - SNLCS. Micelânea, 1), 1979. 83 p.

FALCÃO, M. T.; COSTA, J. A. V. Geomorfologia da região centro-norte de Roraima utilizando técnicas de tratamento e interpretação de imagens raster da missão Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). **REVISTA GEONORTE**, Edição Especial, [S.l.], v. 2, n. 4, p.1484-1496, 2012.

HOGAN, D. J. et al. Urbanização e vulnerabilidade socioambiental: o caso de Campinas. In: HOGAN, D. et al. (Org.). **Migração e ambiente nas aglomerações urbanas**. Campinas: NEPO Unicamp, 2001. p. 396-418.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. Disponível em <<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/>>. Acesso em: 13 fevereiro 2015.

MARCHEZETTI, A. L.; KAVISKI, E.; BRAGA, M. C. B. Aplicação do método AHP para a hierarquização das alternativas de tratamento de resíduos sólidos domiciliares. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 11, n. 2, p. 173-187, 2011.

OLIVEIRA, P. T. S. et al. Processo analítico hierárquico aplicado a vulnerabilidade natural a erosão. **Geociências**, São Paulo, v. 28, n. 4, p. 417-424, 2009.

RIBEIRO JÚNIOR, S.; VIEIRA, C. A. O. Aplicação do processo analítico hierárquico na escolha de tecnologia de coleta de dados para cálculo de volume de minério estocado. **Revista Brasileira de Cartografia**, [S. l.], v. 65, n. 4, p. 633-641, 2013.

SAATY, T. L. Axiomatic foundation of the analytic hierarchy process. **Management Science**, [S.l.], v. 32, [S.n.], p. 841-855, 1986.

SANDER, C. et al. Cheias do Rio Branco e eventos de inundação na cidade de Boa Vista, Roraima. **ACTA Geográfica**, Boa Vista, v. 6, n. 12, p, 41-57, 2012.

VEYRET, Y.; MESCHINET DE RICHEMOND, N. O risco, os riscos. In: VEYRET, Y.(Org.)**Os riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente**. São Paulo:Contexto, 2007. p. 23-79.

VIEILLARD-BARON, H. Os riscos sociais. In: VEYRET, Y. (Org.) **Os riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente**. São Paulo: Contexto, 2007. p.275-316.